盐碱水和海水养殖条件下大黄鱼幼鱼成活、生长和肌肉品质比较分析

黄伟卿[1,2],刘铮[3],周逢芳[3],武小宣[1],周振平[4],周逸洋[4],周舒宁[4],周洪磊[4]

（1. 宁德师范学院海洋学院 宁德 352100；2. 闽东水产品精深加工福建省高校工程研究中心 宁德 352100；3. 宁德师范学院生物科学与工程学院 宁德 352100；4. 宁德市鼎诚水产有限公司 宁德 352100）

摘要：为探究盐碱水养殖对大黄鱼肌肉营养的影响，本试验将大黄鱼鱼苗置于盐碱水和自然海水两种不同水体中进行养殖，比较分析了大黄鱼成活率、生长性能和肌肉营养成分。结果显示，养殖 40 d 后，自然海水养殖组的大黄鱼成活率和生长速度均显著高于盐碱水养殖组（$P < 0.05$）。盐碱水养殖组的大黄鱼肌肉中粗蛋白质含量为（13.6±0.21）%，显著高于自然海水养殖组（$P < 0.05$，以鲜重计，下同）；氨基酸总量、必需氨基酸和鲜味氨基酸含量均高于自然海水养殖组，但差异不显著（$P > 0.05$）；氨基酸指数 EAAI 达 79.3，高于自然海水养殖组。盐碱水养殖组大黄鱼肌肉的多不饱和脂肪酸、高度不饱和脂肪酸、EPA+DHA 含量（13.6±1.6）%均显著高于自然海水养殖组（$P < 0.05$）；其中，n-3PUFA 的含量显著高于自然海水养殖组（$P < 0.05$），n-6PUFA 的含量（12.4±1.0）%虽然低于自然海水养殖组，但差异不显著（$P > 0.05$）。不同水体养殖的大黄鱼肌肉中总汞含量在（0.013 4±0.007 2）～（0.016 3±0.010 7）mg/kg 之间，甲基汞、无机砷和总砷均未检出。结果表明，在盐碱水中养殖大黄鱼具备一定的推广潜力。

关键词：大黄鱼；盐碱水；成活率；生长性能；肌肉营养

中图分类号：S96；P74 **文献标志码：**A **文章编号：**1005-9857（2026）03-0066-09

Comparative Analysis of Survival，Growth，and Muscle Quality in Juvenile *Larimichthys crocea* Under Saline-Alkali Water and Seawater Aquaculture Conditions

HUANG Weiqing[1,2]，LIU Zheng[3]，ZHOU Fengfang[3]，WU Xiaoxuan[1]，ZHOU Zhenping[4]，ZHOU Yiyang[4]，ZHOU Shuning[4]，ZHOU Honglei[4]

（1. College of Marine Sciences，Ningde Normal University，Ningde 352100，China；2. Engineering Research Center of Mindong Aquatic Product Deep-Processing，Ningde 352100，China；3. College of Biological Science and Engineering，Ningde Normal University，Ningde 352100，China；4. Ningde Dingcheng Fishery Company Limited，Ningde 352100，China）

Abstract：To investigate the influence of saline-alkali water aquaculture on the muscle nutrition of *Larimichthys crocea*，this experiment reared the fry of *Larimichthys crocea* in two distinct water bodies：saline-alkali water

收稿日期：2025-05-20；**修订日期：**2026-01-09

基金项目：福建省促进海洋与渔业产业高质量发展专项资金项目“闽宁协作大黄鱼盐碱水养殖新技术研究与示范”（FJHYF-L-2025-18）.

作者简介：黄伟卿，副教授，研究方向为水产增养殖

and natural seawater and conducted a comparative analysis of the survival rate, growth performance, and muscle nutrition composition of *Larimichthys crocea*. The results demonstrated that after 40 days rearing, the survival rate and growth rate of *Larimichthys crocea* in natural seawater group were significantly higher than those in the saline-alkali water rearing group ($P < 0.05$). The content of crude protein in the muscle of *Larimichthys crocea* reared in saline-alkali water was (13.6 ± 0.21) %, which was significantly higher than that in the natural seawater rearing group ($P < 0.05$, based on fresh weight, the same applies below). The total amino acid content, essential amino acids, and umami amino acid content in the saline-alkali water rearing group were all higher than in the natural seawater rearing group, but the differences were not significant ($P > 0.05$). The amino acid index (EAAI) reached 79.3, which was higher than that in the natural seawater rearing group. The muscle of *Larimichthys crocea* reared in the saline-alkali water showed significantly higher levels of polyunsaturated fatty acids (PUFA), highly unsaturated fatty acids, and EPA+DHA content (13.6 ± 1.6) % compared with the natural seawater-raised group ($P < 0.05$). Among these, the content of n-3PUFA cotent was significantly higher than that in the natural seawater rearing group ($P < 0.05$); although the n-6PUFA content (12.4 ± 1.0) % was lower than that in the natural seawater culture group, the difference was not significant ($P > 0.05$). The total mercury content in the muscle of *Larimichthys crocea* reared in different water bodies ranged from (0.013 4 ± 0.007 2) mg/kg to (0.016 3 ± 0.010 7) mg/kg, while the contents of methylmercury, inorganic arsenic, and total arsenic in the muscle were not detected. The results suggest that the cultivation of *Larimichthys crocea* in saline-alkaline water holds considerable potential for wider adoption.

Keywords: *Larimichthys crocea*; Saline-alkali water; Survival rate; Growth performance; Muscle nutrition

大黄鱼（*Larimichthys crocea*），属鲈形目、石首鱼科、黄鱼属，暖温性洄游鱼类，是我国重要的经济鱼类之一[1-2]。大黄鱼主要分布在福建、浙江和广东等沿海，因其味道鲜美，营养丰富，为我国传统海洋“四大渔业”之首，素有“国鱼”之称。后因其越冬群体受到过度捕捞的影响，资源日渐匮乏，濒临枯竭。为了拯救与保护大黄鱼资源，自 1985 年起，宁德市水产科技人员利用宁德官井洋的大黄鱼内湾性产卵场条件，突破了大黄鱼人工育苗等技术瓶颈，首创大黄鱼全人工繁育技术[3]。2023 年，全国大黄鱼养殖产量达 28.1 万 t，其中，宁德市大黄鱼产量达 21.3 万 t，全产业链价值突破 200 亿元，创造了巨大的经济效益、社会效益和生态效益[4]。

我国盐碱地分布范围广泛[5]，自 20 世纪 70 年代起，我国学者开始利用盐碱水进行养殖试验[6]。目前，拟穴青蟹（*Scylla paramamosain*）、中华绒螯蟹（*Eriocheir sinensis*）、大口黑鲈（*Micropterus salmoides*）、尼罗罗非鱼（*Oreochromis niloticus*）、南美白对虾（*Penaeus vannamei*）、下凡纳滨对虾（*Litopenaeus vannamei*）等水产动物已实现盐碱水养殖[7-12]。盐碱水养殖对水生动物的营养和品质安全具有一定的提升作用。例如，喻亚丽等[13]研究表明，盐碱水养殖提升了莲花鳊的肌肉质地、增加蛋白质含量；唐帅等[14]研究表明，盐碱水养殖脊尾白虾（*Exopalaemon carinicauda*）肌肉脂质营养优于自然海水养殖；方伟等[15]研究发现，盐碱水养殖的拟穴青蟹肌肉中脂肪酸与氨基酸含量变化差异不大（$P > 0.05$）；王世会等[16]研究发现，盐碱水养殖对中华绒螯蟹部分营养指标有所提升；葛建民等[17]研究表明，盐碱水养殖不仅可改善鱼类肌肉营养品质，还可降低盐碱地的盐碱度和离子浓度。2021 年，宁德师范学院科研团队率先突破了长途运输技术瓶颈，在宁夏回族自治区银川市贺兰县首次开展大黄鱼盐碱水养殖研究[1]。为此，本研究开展盐碱水养殖模式对大黄鱼肌肉营养品质的影响研究，以期为今后大黄鱼在盐碱水养殖产业化推广提供实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

（1）养殖设备。采用循环水养殖方式，养殖水桶为 0.6 t 容量 PE 养殖桶，试验前 2 d，用高锰酸钾（浓度 30 mg/L）消毒后用清水冲洗干净。

（2）试验用鱼。大黄鱼购自宁德市鼎诚水产有限公司，选取外形健康、活力较好的鱼苗进行试验，大黄鱼鱼苗的平均体重为（0.23 ± 0.10）g、体长为（2.31 ± 0.50）cm。

（3）试验用水。试验在宁德师范学院闽东特色养殖实验室进行，盐碱水从银川市贺兰县宁夏蓝湾生态农业有限公司运输至宁德市，水质理化指标为：盐度 5.5、Ca^{2+} 质量浓度 75.6 mg/L、Mg^{2+} 质量浓度 155.3 mg/L、Na^{+} 质量浓度 500 mg/L、K^{+} 质量浓度 8.8 mg/L、SO_4^{2-} 质量浓度 757.3 mg/L、CO_3^{2-} 质量浓度 48 mg/L、HCO_3^{-} 质量浓度 299 mg/L、Cl^{-} 质量浓度 655 mg/L、总碱度（Alkalinity）质量浓度 299.7 mg/L、总硬度（Hardness）质量浓度 828.3 mg/L。自然海水来自宁德市三都澳海区，水质理化指标为：盐度 24、Ca^{2+} 质量浓度 314.9 mg/L、Mg^{2+} 质量浓度 850.2 mg/L、Na^{+} 质量浓度 6 600 mg/L、K^{+} 质量浓度 250 mg/L、SO_4^{2-} 质量浓度 1 459.5 mg/L、CO_3^{2-} 质量浓度 12 mg/L、HCO_3^{-} 质量浓度 128 mg/L、Cl^{-} 质量浓度 12 854 mg/L、总碱度质量浓度 121.9 mg/L、总硬度质量浓度 4 288.1 mg/L。

（4）试验饲料。选用市售的“健马牌”大黄鱼人工配合饲料（1 号料）。饲料营养成分为粗蛋白≥ 45.0%、粗脂肪≥ 5.0%、粗灰分≤ 14.0%、水分≤ 10.0%、粗纤维≤ 5.0%、赖氨酸≥ 2.8%、总磷≥ 1.0%、0.5%≤氯化钠≤ 3.0%、1.0%≤钙≤ 3.0%。

1.2 试验方法与日常管理

1.2.1 试验设计

分别将大黄鱼鱼苗置于自然海水（自然海水养殖组）和盐碱水（盐碱水养殖组）中进行养殖试验，每个试验组设置 3 个平行组，每个平行组养殖 600 尾。盐碱水养殖组的大黄鱼前期降盐速率与幅度参考黄伟卿等[18]的方法，待降至全部使用盐碱水养殖后，开始进行试验周期统计，试验周期为 40 d。

1.2.2 日常管理

试验期间，养殖水体温度维持在（26 ± 2）℃、溶解氧维持在 5 mg/L 以上、氨氮维持在 0.2 mg/L 以下、亚硝酸盐维持在 0.05 mg/L 以下；每天 7：00、17：00 各投喂 1 次，投喂量为大黄鱼幼鱼体重的 1%～ 3%，具体的投喂量根据鱼苗的摄食情况进行增减调整，投喂半小时后对桶内残余的饲料进行清理以维持养殖水体的干净。每天进行吸污换水，换水量约为养殖用水的 20%，视养殖用水的洁净程度进行调整，不低于养殖用水的 20%，以维持养殖环境的干净。

1.3 方法

1.3.1 养殖成活率与生长性能统计方法

养殖 40 d 后，分别从盐碱水养殖组与自然海水养殖组的每个平行组中随机捞取 30 尾外形健康、无伤病的大黄鱼鱼苗，使用游标卡尺和电子天平测定体质量和体长。

生物学统计：不同养殖用水大黄鱼生物学统计参考李明云等[19]的计算方法，公式如下。

$$\text{体质量绝对增加率（AGRW，g/d）} = (m_2 - m_1) / (t_2 - t_1) \quad (1)$$

$$\text{绝对增长率（AGR，cm/d）} = (L_2 - L_1) / (t_2 - t_1) \quad (2)$$

$$\text{养殖成活率 } R_S = (N_f / N_i) \times 100\% \quad (3)$$

式中：m_1、m_2 和 L_1、L_2 分别为时间 t_1、t_2 时的体质量（g）和体长（cm）；N_f 为试验结束后大黄鱼幼鱼的存活数量（尾）；N_i 为试验开始时大黄鱼幼鱼的初始数量（尾）。

1.3.2 肌肉指标检测方法

各取肌肉 300 g，委托福建省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所进行水分、灰分、粗蛋白、粗脂肪、氨基酸组分、脂肪酸组分、总砷、无机砷、总汞及有机汞检测。

1.3.3 营养评价方法

根据联合国粮食及农业组织（FAO）和世界卫生组织（WHO）在 1973 年提出的氨基酸评分标准模式[20-21]和中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所提出的全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式[22]：分别以氨基酸

评分（AAS）、化学评分（CS）和必需氨基酸指数（EAAI）来评定肌肉蛋白质的氨基酸营养价值，计算公式如下。

$$\text{氨基酸评分（AAS）}=\frac{\text{待测样品氨基酸含量（mg/g pro）}}{\text{FAO/WHO 评分模式同种氨基酸含量（mg/g pro）}} \quad (4)$$

$$\text{化学评分（CS）}=\frac{\text{待测样品氨基酸含量（mg/g pro）}}{\text{全鸡蛋蛋白质同种氨基酸含量（mg/g pro）}} \quad (5)$$

$$\text{必需氨基酸指数（EAAI）}=\sqrt[n]{\frac{\text{Lys}(t)\times 100\cdots\times \text{Val}(t)\times 100}{\text{Lys}(s)\times\cdots\times \text{Val}(t)}} \quad (6)$$

式中：n 为比较必需氨基酸数目；t 为待测样品蛋白质必需氨基酸的含量；s 为全鸡蛋蛋白质的必需氨基酸含量；Lys 为赖氨酸；Val 为缬氨酸。

1.4　数据处理

试验数据统计分析采用 SPSS27.0 Statistics 软件处理，采用单因素方差分析、多重比较等处理方法对试验结果进行显著性检验。试验数据均采用（平均值 ± 标准差）表示。

2　结果

2.1　大黄鱼在不同养殖水体中的成活率和生长速度

盐碱水养殖组大黄鱼的体质量绝对增加率为（0.040 ± 0.023）g/d、绝对增长率为（0.070 ± 0.025）cm/d，均显著低于自然海水养殖组（$P < 0.05$）；盐碱水养殖组的养殖成活率为（76.66 ± 2.8）%，显著低于自然海水养殖组的养殖成活率（$P < 0.05$）（表 1）。

表 1　不同养殖水体大黄鱼的成活率和生长速度

Table 1　Effects of different aquaculture water groups on the survival rate and growth rate of *Larimichthys crocea* aquaculture

组别		自然海水养殖组	盐碱水养殖组
R_S/%		82.16 ± 1.7^{b}	76.66 ± 2.8^{a}
生长速度	AGRW/（g · d^{-1}）	0.070 ± 0.025	0.040 ± 0.023
	AGR/（cm · d^{-1}）	0.090 ± 0.020	0.065 ± 0.023

注：同指标数据肩标不同字母表示差异显著（$P < 0.05$），下同。

2.2　不同养殖水体中大黄鱼肌肉的常规营养成分

盐碱水养殖组大黄鱼肌肉中的粗蛋白质含量为（13.6 ± 0.21）%，显著高于自然海水养殖组（$P < 0.05$）；盐碱水养殖组肌肉中水分含量为（81.8 ± 0.41）%，基本与自然海水养殖组一致；盐碱水养殖组肌肉中粗脂肪含量为（2.2 ± 0.15）%，灰分含量为（3.3 ± 0.05）%，均低于自然海水养殖组，但差异不显著（$P > 0.05$）（表 2）。

表 2　不同养殖水体的大黄鱼肌肉中的常规营养成分

Table 2　Effects of different aquaculture water bodies on the conventional nutritional components of *Larimichthys crocea* muscle

营养成分 /%	自然海水养殖组	盐碱水养殖组
粗蛋白	12.6 ± 0.19^{a}	13.6 ± 0.21^{b}
粗脂肪	2.6 ± 0.13	2.2 ± 0.15
水分	81.7 ± 0.50	81.8 ± 0.41
灰分	4.0 ± 0.03	3.3 ± 0.05

2.3　不同养殖水体中大黄鱼肌肉的氨基酸含量

盐碱水养殖组的大黄鱼肌肉中每 100 g 所含的氨基酸总量（TAA）为（12.68 ± 1.7）g、必需氨基酸（EAA）为（4.64 ± 0.4）g 和鲜味氨基酸（DAA）为（5.33 ± 1.3）g，均高于自然海水养殖组，但差异不显著（$P > 0.05$）（图 1）。

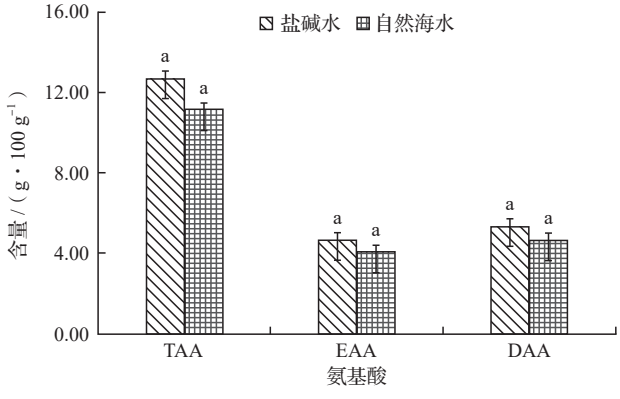

图 1　不同水体养殖的大黄鱼肌肉中每 100 g 所含氨基酸含量

Fig.1　Amino acid content per 100 grams of muscle of large yellow croaker cultured in different water bodies

注：同组数据肩标不同字母表示差异显著（$P < 0.05$），相同字母表示差异不显著（$P > 0.05$）。

对不同水体养殖的大黄鱼肌肉氨基酸营养价值进行评价，结果表明，盐碱水养殖组大黄鱼的EAAI达79.3，高于自然海水养殖组的75.5（表3），说明盐碱水养殖组的大黄鱼肌肉必需氨基酸较自然海水养殖组更优。

表3 不同养殖水体大黄鱼肌肉必需氨基酸的营养价值评价

Table 3 Evaluation of the amino acid nutritional value of *Larimichthys crocea* muscle from different aquaculture water bodies

项目	评分模式参考值		自然海水养殖组		盐碱水养殖组	
	FAO/WHO 标准	鸡蛋蛋白标准	ASS	CS	ASS	CS
异亮氨酸 Ile	40	54	97.2	72.0	101.1	74.9
亮氨酸 Leu	70	86	97.5	79.4	100.8	82.0
赖氨酸 Lys	55	70	130.0	102.1	139.0	109.2
甲硫氨酸 Met+半胱氨酸 Cys	35	57	89.6	55.0	98.7	60.6
苏氨酸 Thr	40	47	105.2	89.5	108.5	92.3
缬氨酸 Val	50	66	90.5	68.6	92.6	70.2
苯丙氨酸 Phe+酪氨酸 Tyr	60	93	109.8	70.8	116.4	75.1
EAAI	100		75.5		79.3	

2.4 不同养殖水体中大黄鱼肌肉的脂肪酸组成

盐碱水养殖组大黄鱼肌肉中的饱和脂肪酸（SFA）的含量为（33.8 ± 1.8）%，不饱和脂肪酸（UFA）的含量为（55.1 ± 2.8）%，均低于自然海水养殖组，但差异不显著（$P > 0.05$），而肌肉中所含的单不饱和脂肪酸（MUFA）的含量为（27.7 ± 1.7）%，显著低于自然海水养殖组（$P < 0.05$）。盐碱水养殖组的多不饱和脂肪酸（PUFA）为（27.4 ± 1.2）%、高度不饱和脂肪酸（HUFA）为（15.2 ± 1.5）%，则显著高于自然海水养殖组（$P < 0.05$）。盐碱水养殖组的大黄鱼肌肉脂肪酸中n-3PUFA的含量为（15 ± 1.4）%，显著高于自然海水养殖组（$P < 0.05$），但n-6PUFA的含量为（12.4 ± 1.0）%，低于自然海水养殖组，差异不显著（$P > 0.05$）。盐碱水养殖组的EPA+DHA含量为（13.6 ± 1.6）%，显著高于自然海水养殖组（$P < 0.05$）（表4）。

表4 不同养殖水体大黄鱼肌肉的脂肪酸含量

Table 4 Fatty acid content in muscle tissue of *Larimichthys crocea* from different aquaculture water bodies

%

项目	自然海水养殖组	盐碱水养殖组
C14:0	2.90 ± 0.1[a]	4.5 ± 0.0[b]
C15:0	0.30 ± 0.2	0.4 ± 0.2
C15:1n5c*△	0.10 ± 0.3	0.1 ± 0.0
C16:0	21.80 ± 0.1[b]	20.7 ± 0.2[a]
C16:1n7c*△	6.00 ± 0.2	7.1 ± 0.1
C17:0	0.80 ± 0.1[a]	1.2 ± 0.3[b]
C17:1n7c*△	0.20 ± 0.0[a]	0.4 ± 0.0[b]
C18:0	7.40 ± 0.3[b]	5.6 ± 0.2[a]
C18:1n9c*△	25.70 ± 0.5[b]	18.3 ± 0.4[a]
C18:2n6c*●	11.7 ± 0.2	11.1 ± 0.3
C18:3n6c*●	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.0
C18:3n3c*●	1.0 ± 0.3	1.3 ± 0.4
C20:0	0.3 ± 0.2	0.4 ± 0.3
C20:1n9c*△	1.1 ± 0.1	1.0 ± 0.2
C20:2n6c*●☆	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0
C20:3n6c*●☆	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.1
C20:4n6c（ARA）*●☆	0.7 ± 0.0	0.7 ± 0.0
C20:3n3c*●☆	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.0
C22:0	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1
C20:5n3c（EPA）*●☆	4.3 ± 0.2[a]	7.3 ± 0.3[b]
C22:1n9c*△	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.0
C24:0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
C24:1n9c*△	0.4 ± 0.0[a]	0.6 ± 0.1[b]
C22:6n3c（DHA）*●☆	5.4 ± 0.2	6.3 ± 0.3
其他 others	8.8 ± 0.3[a]	11.8 ± 0.2[b]
饱和脂肪酸 SFA	33.8 ± 2.3	33.1 ± 1.8
不饱和脂肪酸 UFA	57.4 ± 3.1	55.1 ± 2.8
单不饱和脂肪酸 MUFA	33.7 ± 1.4[b]	27.7 ± 1.7[a]
多不饱和脂肪酸 PUFA	23.7 ± 1.7[a]	27.4 ± 1.2[b]
高度不饱和脂肪酸 HUFA	11.1 ± 1.1[a]	15.2 ± 1.5[b]
∑n-3PUFA	10.8 ± 0.7[a]	15 ± 1.4[b]
∑n-6PUFA	12.9 ± 1.1	12.4 ± 1.0
EPA+DHA	9.7 ± 1.4[a]	13.6 ± 1.6[b]

注：* 表示不饱和脂肪酸；△表示单不饱和脂肪酸；●表示多不饱和脂肪酸；☆表示高度不饱和脂肪酸；同一行数据上标不同字母表示差异显著（$P < 0.05$），相同字母表示差异不显著（$P > 0.05$）。

2.5　不同养殖水体中大黄鱼肌肉的汞、砷含量

对盐碱水养殖组和自然海水养殖组的大黄鱼肌肉中的总汞、甲基汞、总砷和无机砷含量进行检测，结果显示：不同水体养殖的大黄鱼肌肉中总汞质量比在（0.013 4 ± 0.007 2）～（0.016 3 ± 0.010 7）mg/kg，自然海水养殖组的总汞含量高于盐碱水养殖组，但差异不显著（$P > 0.05$），而甲基汞、总砷和无机砷含量未检出，均在《食品安全国家标准 食品中污染物限量》（GB 2762—2021）规定的水产品中总汞的合格标准（0.1 mg/kg）范围内。

3　讨论

3.1　盐碱水养殖对大黄鱼成活率的影响

我国拥有广阔的盐碱水域，合理开发和利用盐碱水进行水产养殖，有助于解决内陆土地盐碱化的问题。相较于自然海水，盐碱水离子组成和盐度均处于较低水平，鱼类为维持正常生理功能，尤其是盐碱水环境下的体内酸碱及渗透平衡，容易造成机体组织结构（如鳃、肝脏组织）发生病变[23]。黄伟卿等[3]、金希哲等[24]研究表明，大黄鱼为适应低盐度养殖环境，其鳃组织出现脱落、肿大等结构变化，肝脏中的肝细胞发生变形、病变，进而影响鱼类健康，甚至导致死亡。本试验发现，盐碱水养殖条件下的大黄鱼出现了成活率低的现象，主要原因是养殖过程中大黄鱼受盐碱水低盐度（盐度 5.5）和高碱度（pH 8.5）的影响，部分个体出现病变，造成了鱼苗死亡。Zhou 等[25]研究也表明，大黄鱼为适应盐碱水域环境养殖，鳃组织表现出肿大、部分细胞脱离、结构松弛等病变特征。

3.2　盐碱水养殖对大黄鱼生长性能的影响

盐碱水养殖条件下，鱼类为维持正常体内酸碱及渗透平衡等生理功能，需要通过离子转运消耗能量[23]。例如，方伟等[15]研究表明，盐碱水中 Na^+/K^+ 值高于自然海水，导致拟穴青蟹无法满足其正常生长过程中的离子需求，从而生长性能下降；臧维玲等[26]研究也表明，在特定 Mg^{2+}（300 ～ 440 mg/L）和 Ca^{2+}（170 ～ 244 mg/L）浓度范围内，可提高虾类的出苗率。在本试验中发现，盐碱水养殖组的大黄鱼生长性能显著低于自然海水养殖组，其原因主要包括：一方面，盐碱水中的离子浓度组成无法满足大黄鱼最适生长的需求；另一方面，大黄鱼为适应盐碱水环境，机体进行自我调节时消耗了大量能量，导致盐碱水养殖组的生长性能低于自然海水养殖组。

3.3　盐碱水养殖对大黄鱼肌肉营养成分的影响

当养殖水体的盐度和 pH 发生改变时，水产养殖动物机体为维持渗透压平衡，会调节肌肉细胞的代谢活动（如蛋白质等的合成与分解），从而导致其肌肉中营养成分发生改变[27-28]。Jiang 等[29]研究证明，眼斑拟石首鱼（*Sciaenops ocellatus*）在低盐碱水环境中养殖可提高粗蛋白质的含量。类似地，斑点叉尾鮰（*Ictalurus punctatus*）[30]、点篮子鱼（*Siganus guttatus*）[31]、大菱鲆（*Scophthalmus maximus*）[32]和日本鳗鲡（*Anguilla japonica*）[33]在低盐环境下，随着盐度降低，肌肉中粗蛋白质含量随之提高。本研究同样发现，在盐碱水养殖的大黄鱼肌肉中粗蛋白质含量高于正常海水养殖组，再次证明了适宜的盐碱水环境可提高水产动物肌肉中蛋白质含量，从而有效改善肌肉营养品质。

肌肉中呈味氨基酸的含量是评定鱼类口味与营养价值的重要指标，而必需氨基酸含量和氨基酸评分指数则是衡量氨基酸组成的重要指标。针对大黄鱼肌肉营养品质，有学者研究表明，选育可以提高鲜味氨基酸和氨基酸总量，但对必需氨基酸的影响不大[34]；而改变养殖模式，如低盐养殖模式和深远海养殖模式等，均会提高大黄鱼的氨基酸含量[18, 35]。也有学者研究表明，野生捕捞的大黄鱼较不同区域养殖的大黄鱼在鲜味氨基酸含量上表现出明显优势[36]。而本研究中，盐碱水养殖大黄鱼肌肉中的呈味氨基酸（DAA）、氨基酸总量（TAA）、必需氨基酸（EAA）含量和 EAAI 指数均高于自然海水养殖组，说明大黄鱼在盐碱水中进行养殖，能够提高其风味与营养价值，这与方伟等[15]和喻亚丽等[13]的研究结果一致。

脂肪酸组成在一定程度上可以反映机体的健康水平和营养水平[37]。彭士明等[38]和杭晓敏等[39]研究表明，PUFA 是维持细胞膜结构和机能完整性的重要成分，对多种疾病具有较好的免疫调节作用。有研究表明，肌肉中含 PUFA 的 n-6 族和 n-3 族

在人类及哺乳动物体内不能合成，必须通过食物摄取而获得；其中，n-3 族是一种生物活性调节剂，具有类激素作用，可以扩张血管、降低血压和预防心血管疾病等，同时具有抗炎应答反应，有益人体健康；而 n-6 族能引起血小板聚集、血管收缩和炎症反应等，对人体健康造成不利影响[40]。本研究结果显示，采用盐碱水养殖大黄鱼，可使其适应盐碱水环境，进而提升肌肉中 n-3PUFA、HUFA 及 EPA+DHA 含量。

4 结论

本研究结果表明，大黄鱼在盐碱水中养殖的成活率和生长性能显著低于自然海水养殖组（$P < 0.05$），但盐碱水养殖的大黄鱼肌肉必需氨基酸、不饱和脂肪酸较自然海水养殖组更佳，并且汞和砷含量远低于《食品安全国家标准 食品中污染物限量》（GB 2762—2022）规定的水产品污染物限量标准，具备一定的养殖推广价值。

参考文献（References）：

[1] ZHOU Fengfang，CHANG Mengyang，LAN Yan，et al. Effects of saline-alkaline stress on metabolomics profiles，biochemical parameters，and liver histopathology in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part D：Genomics and Proteomics，2024，52：101343.

[2] 包特力根白乙. 中国大黄鱼产业：生产、市场及展望[J]. 中国渔业经济，2024，42(1)：33-42.
BAO Teligenbaiyi. Large yellow croaker industry in China：production，market and prospect[J]. Chinese Fisheries Economics，2024，42(1)：33-42.

[3] 黄伟卿，刘家富，刘招坤，等. 大黄鱼养殖技术[M]. 青岛：中国海洋大学出版社，2019.
HUANG Weiqing，LIU Jiafu，LIU Zhaokun，et al. Large yellow croaker cultivation techniques[M]. Qingdao：China Ocean University Press，2019.

[4] 农业农村部渔业渔政管理局，全国水产技术推广总站，中国水产学会. 中国渔业统计年鉴 2024[M]. 北京：中国农业出版社，2024.
Bureau of Fisheries，Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China，National Fisheries Technology Extension Center，The China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2024[M]. Beijing：China Agriculture Press，2024.

[5] 刘永新，方辉，来琦芳，等. 我国盐碱水渔业现状与发展对策[J]. 中国工程科学，2016，18(3)：74-78.
LIU Yongxin，FANG Hui，LAI Qifang，et al. The current state and development strategy for China's saline-alkaline fisheries[J]. Strategic Study of CAE，2016，18(3)：74-78.

[6] 梁利群，任波，常玉梅，等. 中国内陆咸（盐碱）水资源及渔业综合开发利用[J]. 中国渔业经济，2013，31(4)：138-145.
LIANG Liqun，REN Bo，CHANG Yumei，et al. Inland brackish (alkaline-saline) water resources and fisheries utilization in China[J]. Chinese Fisheries Economics，2013，31(4)：138-145.

[7] 周冬平，刘磊，付媛媛，等. 黄河三角洲地区拟穴青蟹盐碱水池塘养殖技术研究[J]. 河北渔业，2023(12)：13-15.
ZHOU Dongping，LIU Lei，FU Yuanyuan，et al. Study on culture techniques of *Scylla paramamosain* in saline-alkali pond in the Yellow River Delta[J]. Hebei Fisheries，2023(12)：13-15.

[8] 李凤璐，朱筛成，李嘉尧，等. 黄河口盐碱地区稻蟹种养模式下中华绒螯蟹适宜放养密度的初探[J]. 上海海洋大学学报，2024，33(1)：53-66.
LI Fenglu，ZHU Shaicheng，LI Jiayao，et al. Preliminary study on the suitable stocking density of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) under rice-crab co-culture system in the saline-alkaline area of the Yellow River Estuary[J]. Journal of Shanghai Ocean University，2024，33(1)：53-66.

[9] 逯冠政，么宗利，来琦芳，等. 高盐碱环境下大口黑鲈幼鱼生长性能、血液生理指标与质构特征研究[J]. 渔业科学进展，2022，43(4)：1-11.
LU Guanzheng，YAO Zongli，LAI Qifang，et al. Growth performance，blood parameters，and texture characteristics of juvenile largemouth bass(*micropterus salmoides*)exposed to highly saline-alkaline water[J]. Progress in Fishery Sciences，2022，43(4)：1-11.

[10] 张浩钿，陈生熬，葛建民，等. 尼罗罗非鱼高位池盐碱水养殖技术[J]. 现代畜牧科技，2023(3)：45-47.
ZHANG Haodian，CHEN Sheng'ao，GE Jianmin，et al. Technology of oreochromis niloticus saline-alkali aquaculture in elevation

pool[J]. Modern Animal Husbandry Science & Technology，2023(3)：45-47.

[11] 胡伯林，艾涛，林旭元，等. 南疆盐碱水养殖南美白对虾试验[J]. 科学养鱼，2024(11)：37-38.
HU Bolin，AI Tao，LIN Xuyuan，et al. Experiment on *Litopenaeus vannamei* culture in saline-alkali water of southern Xinjiang[J]. Scientific Fish Farming，2024(11)：37-38.

[12] 黄艳青，杨絮，王怡菊，等. 西北硫酸盐型盐碱水与低盐度海水养殖凡纳滨对虾营养成分及品质评价[J]. 渔业信息与战略，2023，38(1)：60-66.
HUANG Yanqing，YANG Xu，WANG Yiju，et al. Analysis and quality evaluation of nutrient components in muscle of *Litopenaeus vannamei* of two saline-alkali aquaculture and mariculture[J]. Fishery Information & Strategy，2023，38(1)：60-66.

[13] 喻亚丽，李珍，张浪，等. 盐碱水对鲌鲂“先锋 2 号”营养品质的影响[J]. 养殖与饲料，2024，23(10)：37-45.
YU Yali，LI Zhen，ZHANG Lang，et al. Effects of saline-alkali water on the nutritional quality of Bo Fang“Xianfeng No.2”[J]. Animal Breeding and Feed，2024，23(10)：37-45.

[14] 唐帅，王佳佳，王成伟，等. 盐碱水养殖对脊尾白虾肌肉品质的影响[J]. 中国水产科学，2024，31(8)：966-977.
TANG Shuai，WANG Jiajia，WANG Chengwei，et al. Effect of saline-alkaline aquaculture on meat quality of *Exopalaemon carinicauda*[J]. Journal of Fishery Sciences of China，2024，31(8)：966-977.

[15] 方伟，刘磊，常雯，等. 盐碱水和海水养殖条件下的拟穴青蟹生长和营养成分比较分析[J]. 水产学报，2022，46(11)：2143-2157.
FANG Wei，LIU Lei，CHANG Wen，et al. Comparative analysis of growth and nutritional components of *Scylla paramamosain cultured* in saline-alkali water and marine water[J]. Journal of Fisheries of China，2022，46(11)：2143-2157.

[16] 王世会，赵志刚，罗亮，等. 滨海氯化物型盐碱水池塘养殖中华绒螯蟹营养品质分析[J]. 海洋渔业，2023，45(5)：579-593.
WANG Shihui，ZHAO Zhigang，LUO Liang，et al. Quality analysis of *Eriocheir sinensis* originated from Yangtze River cultured in chloride saline-alkaline water[J]. Marine Fisheries，2023，45(5)：579-593.

[17] 葛建民，訾方泽，王新月，等. 新疆盐碱水湖塘生态养殖模式下鱼类生长及肌肉营养品质[J]. 中国水产科学，2023，30(5)：559-572.
GE Jianmin，ZI Fangze，WANG Xinyue，et al. A comparative study on fish growth and nutritional composition under pond ecological farming in Xinjiang[J]. Journal of Fishery Sciences of China，2023，30(5)：559-572.

[18] 黄伟卿，张艺，王晓晓，等. 低盐养殖大黄鱼肌肉营养成分分析[J]. 水产科技情报，2019，46(6)：301-307.
HUANG Weiqing，ZHANG Yi，WANG Xiaoxiao，et al. Nutrition composition analysis of aquacultured *larimichthys crocea* in different salinity[J]. Fisheries Science & Technology Information，2019，46(6)：301-307.

[19] 李明云，胡玉珍，苗亮，等. 岱衢洋和官井洋大黄鱼自交与杂交子代生长性能及杂交优势分析[J]. 水产学报，2010，34(6)：859-864.
LI Mingyun，HU Yuzhen，MIAO Liang，et al. Studies on the growth characteristics and heterosis of genealogies of *Pseudosciaena crocea*[J]. Journal of Fisheries of China，2010，34(6)：859-864.

[20] 李凤林，张忠，李凤玉. 食品营养学[M]. 北京：化学工业出版社，2009：24-49.
LI Fenglin，ZHANG Zhong，LI Fengyu. Food nutriology[M]. Beijing：Chemical Industry Press，2009：24-49.

[21] PELLETT P L，YONG V R.Nutritional evaluation of protein foods[M]. Tokyo：The United National University Publishing Company，1980：26-29.

[22] 桥本芳郎. 养鱼饲料学[M]. 蔡完其，译. 北京：农业出版社，1980：104-115.
Yoshiro Hashimoto. Fish feed science[M]. Trans. by CAI Wanqi，Beijing：Agriculture Press，1980：104-115.

[23] BRAUNER C J，GONZALEZ R J，WILSON J M. Extreme environments：hypersaline，alkaline，and ion-poor waters[M]// Euryhaline Fishes. Amsterdam：Elsevier，2012：435-476.

[24] 金希哲，陈庆凯，叶坤，等. 低盐养殖大黄鱼部分器官的组织学特征[J]. 集美大学学报（自然科学版），2015，20(2)：90-97.
JIN Xizhe，CHEN Qingkai，YE Kun，et al. The histological studies on some organs of large yellow croaker，*larimichthys crocea* reared in low salinity water[J]. Journal of Jimei University (Natural Science)，2015，20(2)：90-97.

[25] ZHOU Fengfang，CHANG Mengyang，RUAN Shaojiang，et al. Transcriptomic and histologic analyses preliminarily reveal the immune-metabolic response mechanism to saline-alkaline in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part D：Genomics and Proteomics，2024，52：101282.

[26] 臧维玲，戴习林，张建达，等. 罗氏沼虾育苗用水中 Mg^{2+} 与 Ca^{2+} 含量及 Mg^{2+}/Ca^{2+} 对出苗率的影响[J]. 海洋与湖沼，1995，

26(5)：552-557.
ZANG Weiling，DAI Xilin，ZHANG Jianda，et al. Effects of Mg^{2+}，Ca^{2+} and Mg^{2+}/Ca^{2+} contents on survival rates of *macrobrachium rosenbergii* larvae reared in mixed water[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica，1995，26(5)：552-557.

[27] QIN Kangxiang，FENG Weihao，JI Zhaoxiong，et al. Shrimp cultured in low-salt saline–alkali water has a better amino acid nutrition and Umami：Comparison of flavors between saline–alkali water- and seawater-cultured *Litopenaeus vannamei*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry，2024，72(12)：6585-6592.

[28] ZHANG Tonghao，ZHANG Liangzi，YIN Tao，et al. Recent understanding of stress response on muscle quality of fish：from the perspective of industrial chain[J]. Trends in Food Science & Technology，2023，140：104145.

[29] JIANG Xiaosong，NIU Mingming，QIN Kangxiang，et al. Enhancement of nutrient composition and non-volatile flavor substances in muscle tissue of red drum (*Sciaenops ocellatus*) through inland low salinity saline-alkaline water culture[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry，2024，72(13)：7326-7335.

[30] 张世勇，邵俊杰，陈校辉，等. 盐度对斑点叉尾鮰幼鱼生长性能、肌肉持水力和营养组成的影响[J]. 生物学杂志，2018，35(3)：57-61.
ZHANG Shiyong，SHAO Junjie，CHEN Xiaohui，et al. Effects of salinities on growth，water binding capacity and nutrients of in channel catfish fingerlings[J]. Journal of Biology，2018，35(3)：57-61.

[31] 宋超，章龙珍，刘鉴毅，等. 池塘低盐养殖点篮子鱼肌肉营养成分的分析与评价[J]. 海洋渔业，2012，34(4)：444-450.
SONG Chao，ZHANG Longzhen，LIU Jianyi，et al. Analysis and evaluation of nutritional components in muscle of *Siganus guttatusreared* in low salinity pond[J]. Marine Fisheries，2012，34(4)：444-450.

[32] 曾霖，雷霁霖，刘滨，等. 盐度对大菱鲆幼鱼生长和肌肉营养成分的影响[J]. 水产学报，2013，37(10)：1535-1541.
ZENG Lin，LEI Jilin，LIU Bin，et al. Effects of salinities on growth and flesh quality of juvenile turbot(*Scophthalmus maximus*)[J]. Journal of Fisheries of China，2013，37(10)：1535-1541.

[33] 胡园，周朝生，胡利华，等. 海、淡水养殖日本鳗鲡肌肉和鱼皮营养分析比较[J]. 水生生物学报，2015，39(4)：730-739.
HU Yuan，ZHOU Chaosheng，HU Lihua，et al. Comparative analysis of the nutritional composition in the muscles and skins of *Anguilla Japonica* cultured in the seawater and freshwater[J]. Acta Hydrobiologica Sinica，2015，39(4)：730-739.

[34] 黄伟卿，张艺，周振平，等. 大黄鱼选育子代 F3 肌肉营养分析[J]. 渔业研究，2025，47(4)：460-467.
HUANG Weiqing，ZHANG Yi，ZHOU Zhenping，et al. Nutritional analysis of F3 muscles in the breeding of *Larimichthys crocea* offspring[J]. Journal of Fisheries Research，2025，47(4)：460-467.

[35] 陈志，李水根，许丽双，等. 深远海养殖大黄鱼肌肉品质分析与比较[J]. 福建农业科技，2024，55(11)：25-31.
CHEN Zhi，LI Shuigen，XU Lishuang，et al. Analysis and comparison of the muscle quality of larimichthys croceas cultured in deep sea[J]. Fujian Agricultural Science and Technology，2024，55(11)：25-31.

[36] 陈金玉，杨盈悦，黄家海，等. 4 种来源大黄鱼营养成分的比较分析[J]. 食品安全质量检测学报，2022，13(21)：7020-7027.
CHEN Jinyu，YANG Yingyue，HUANG Jiahai，et al. Comparative analysis on nutritional components of *Larimichthys crocea* from 4 kinds of sources[J]. Journal of Food Safety and Quality，2022，13(21)：7020-7027.

[37] JANA S N，GARG S K，PATRA B C. Effect of inland water salinity on growth performance and nutritional physiology in growing milkfish，*Chanos chanos* (Forsskal)：field and laboratory studies[J]. Journal of Applied Ichthyology，2006，22(1)：25-34.

[38] 彭士明，施兆鸿，侯俊利. 海水鱼脂类营养与饲料的研究进展[J]. 海洋渔业，2010，32(2)：218-224.
PENG Shiming，SHI Zhaohong，HOU Junli. Study on the lipid nutrition and artificial diet of marine fish[J]. Marine Fisheries，2010，32(2)：218-224.

[39] 杭晓敏，唐涌濂，柳向龙. 多不饱和脂肪酸的研究进展[J]. 中国生物工程杂志，2001，21(4)：18-21.
HANG Xiaomin，TANG Yonglian，LIU Xianglong. Progress in the research on polyunsaturated fatty acids[J]. China Biotechnology，2001，21(4)：18-21.

[40] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量[M]. 北京：中国轻工业出版社，2000.
Chinese Nutrition Society. Reference intake of dietary nutrients of China residents[M]. Beijing：China Light Industry Press，2000.